

GAと山登り法の組み合わせによる混雑課金設計法の改良

○ 熊本大学 学生員 孫学強
熊本大学 正会員 円山琢也
熊本大学 学生員 高木良太

1. 研究背景

都市の道路混雑解消や環境負荷低減に向けた交通需要マネジメント施策の一つとして、ロード・プライシング政策（以下、混雑課金政策）が注目され、盛んに研究が進められている課金領域を最適化する際に、遺伝的アルゴリズムを用いた研究が数多くされてきたが、そのほとんどが標準遺伝的アルゴリズム（以下 SGA）での最適化だった。SGA には、大局探索力が強いが、局所探索力が弱いという特徴がある。SGA に局所探索力が強い山登り法（以下、CH）を加えた GA+CH アルゴリズムの研究があるが、それを混雑料金政策の設計に利用した例はない。本研究では木構造に適した課金領域の表現に用いる GA+CH アルゴリズムの開発を行う。

2. モデルの定式化

本研究では、利用者均衡条件の制約のもと、社会的余剰の最大化を目的とする課金領域・課金レベルを設定する問題¹⁾を考える。下位問題ではトリップ・チェーン・ベースの需要変動型利用者均衡配分を行う。

3. GAと山登り法の組み合わせによる解法及び改良

提案手法のフローを図-1に示す。

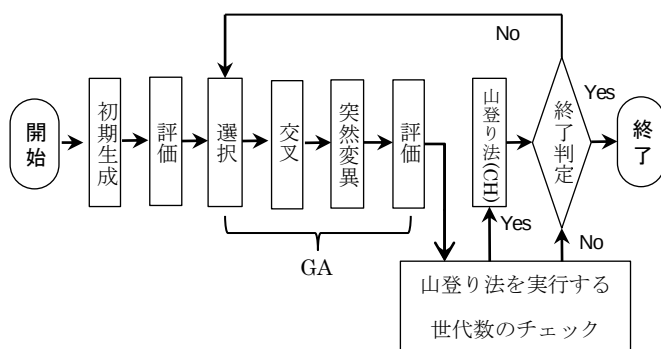


図-1 最適化の流れ

(1) 木構造によるコーディング

混雑課金設計問題に GA を利用するには、都市ネットワークの情報を保ちながら課金領域をうまく表現するコーディング法を考える必要がある。

本研究では、Sumalee²⁾によってコードン課金領域を対象に提案された branch-tree コンセプト（以下、木構造）をデータ上での課金領域の表現手法とする。

(2) GAのプロセス

本研究の基本となるGA を用いた混雑料金設計の計算法の詳細は参考文献¹⁾参照すること。

(3) CHアルゴリズム

CH アルゴリズムを以下に示す。

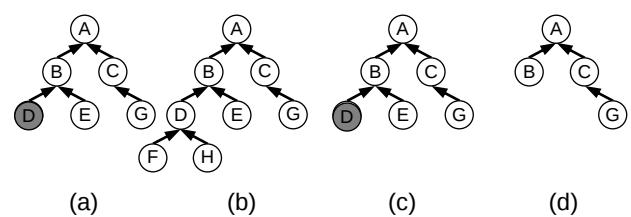


図-2 山登り法

Step1:すべての個体の適合度(社会的余剰)を計算し、適合度が二番目に良い個体を山登り法の対象として選択する。

Step2:木構造に存在するすべての葉ノードを探し、山登り法対象リストに追加する。

Step3:対象リストにある葉ノードを一つずつ拡張を行った時の各適合度を記録する（図 2(a)→(b)）。また、木構造の拡張だけでなく、縮小の方向も適合度を向上させる可能性があるので、葉ノードの親ノードが持っている子ノードをすべて縮小したときの各適合度を記録する（図 2(c)→(d)）。

Step4:リスト中のすべての葉ノードに Step3 の処理を適用後、リストに最大の適合度を持つ葉ノードを選び、その値を今の適合度（step1 の値）と比べて大きければ、step5 に進み；小さければ終了する。

Step5:step4 で選択した葉ノードに対する操作を確定させ、遺伝子データに反映させた後、step2 に戻る

(4) GA+CHアルゴリズムの拡張

以上のGAとCHを統合し、図1のような計算法を構築した。全世代に山登り法を実行すると、計算時間が増加する。計算時間を削減するため、図1で示したように、山登り法の実行制限を加え、最初と最後の10%程度の世代のみに山登り法を実行する。

4. 実都市ネットワークへの適用

従来の標準 GA と比べるために、高木ら¹⁾と同じ宇都宮都市圏に対して本モデルの適用を行った。計算世代を除いて既存研

究と入力条件を同一にして、比較分析ができるように設定して2000 世代 SGA の結果と比べても下回った。
いる。

表-1 交通モデルとアルゴリズムのパラメータ (一部)

計算世代	2000 (SGA) 500 (GA+CH)
CH 実行世代	1～30 と 450～500

(1) エリア課金の最適化

まず、宇都宮都市圏に対してエリア課金の最適化を行った。図-3 は最適化モデルの実行によって得られた結果の一つである。

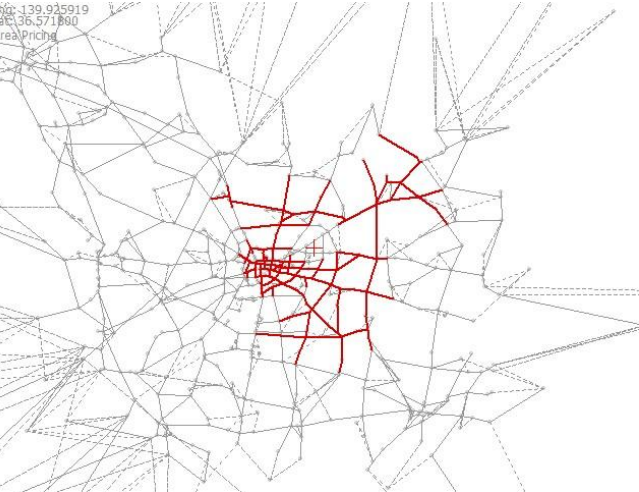


図-3 エリア課金の最適解の1つ (赤色部分)

既存方法の SGA で 2000 世代を実行した結果と GA+CH の比較を図 4 に示す。GA+CH の場合、山登り法を実行した世代 (1～30 世代と 450～500 世代) の適合度の向上率が SGA に比べて大きい。また、GA+CH は最終的に適合値が 1.3787×10^9 円まで向上し、SGA と比較して最適値が 10 万円上回っている。また、GA+CH は、SGA と同水準の適合値を得るための計算時間も 30%前後削減できている。新たな手法の優位性が示された。

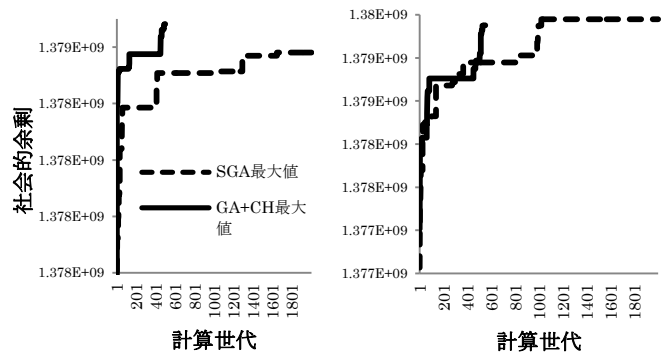


図-4 SGAとGA+CHの比較(エリア課金)

(2) コードン課金の最適化

エリア課金の最適化と同様のアルゴリズムを用いて、コードン課金領域の最適化を行った。

SGA と GA+CH の比較を図 5 に示す。エリア課金の場合と同じく、GA+CH にて山登り法を実行した世代 (1～30 世代と 450～550 世代) の適合度の向上率が大きい、エリア課金の場合と比べてその効果が明確ではない。また、GA+CH で得られた最適解の適合値は、

既存研究¹⁾の図 11 と図 12 より、課金対象リンク数の増加によって、コードン課金の場合はエリア課金の場合より、社会的余剰の変動が激しいことが分かっている。この変動が山登り法の効果に影響し、コードン課金計算時の改良した効果がエリアの場合より劣る原因の一つと考える。

なお、2000 世代 SGA のコードン最適解にさらに山登り法を実行した。最適の社会的余剰がさらに 20 万円向上しており、最終的に適合値が 1.3795×10^9 円まで向上した。500 世代前に山登り法を実行した効果より向上したということが分かった。その原因は課金リンク数が多いので、選択に葉ノードが多く、今の状態より高い値が出る可能性が高いためと考えられる。図 6 は最適化モデルの実行によって得られた最適コードン領域の一つである。

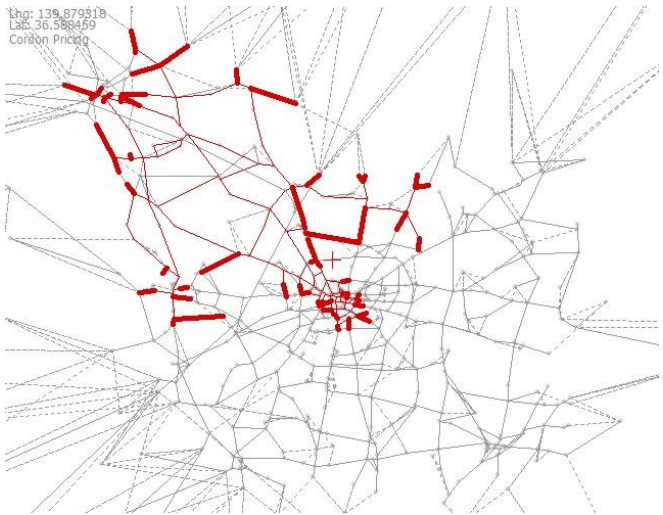


図-6 コードン課金の最適解の1つ (赤色部分)

5. おわりに

木構造に適する山登り計算法を新たに開発し、実都市(宇都宮)へ適用によって、従来手法より高い有用性を示した。

今後の課題として、2000世代SGAのコードン最適解に山登り法を実行し、さらに改善する効果が伸びた現象を踏まえ、GAの後半世代に山登り法を適用し、より効率化を図ることがある。

参考文献

1) 高木良太、円山琢也、溝上章志：エリア課金の最適設計問題：課金領域・レベルの決定アルゴリズムの構築と適用、土木学会論文集D3 (土木計画学), Vol.67, No.5 (土木計画学研究・論文集第28巻), L_1233-I_1242, 2011.

2) Sumalee, A.: Optimal road user charging cordon design: a heuristic optimization approach, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 19, pp. 377-392, 2004.